

(11)Publication number : 2001-274096  
(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(21)Application number : **2000-084592** (71)Applicant : **SANYO ELECTRIC CO LTD**  
(22)Date of filing : **24.03.2000** (72)Inventor : **KANO TAKASHI**  
**DAIHO HIROKI**

<http://www19.ipdl.ncipi.go.jp/PA1/result/detail/main/wAAAhLaaqrDA413274096P1.htm> 2006-08-08

than the examiner's decision of rejection  
or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3778765

[Date of registration]

10.03.2006

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(11)特許出願公開番号

特開2001-274096

(P2001-274096A)

(43)公開日 平成13年10月5日(2001.10.5)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別番号	F I	データベース*(参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 1
33/00		33/00	C 5 F 0 4 5
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数9 O.L (全 14 頁)

(21)出願番号	特願2000-84592(P2000-84592)	(71)出願人	000001889 三洋電機株式会社 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(22)出願日	平成12年3月24日(2000.3.24)	(72)発明者	狩野 隆司 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三 洋電機株式会社内
		(72)発明者	大保 広樹 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三 洋電機株式会社内
		(74)代理人	100098305 弁理士 福島 祥人

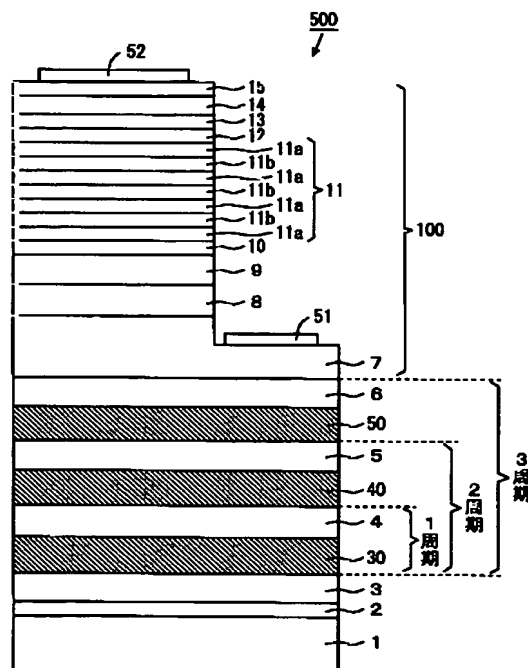
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 格子欠陥が低減されて多くの素子特性を有するとともに低コストで製造が可能な半導体素子およびその製造方法を提供することである。

【解決手段】 半導体レーザ素子500の作製時には、サファイア基板1上にバッファ層2、第1のアンドープGaN層3、第1の超格子欠陥低減層30、第2のアンドープGaN層4、第2の超格子欠陥低減層40、第3のアンドープGaN層5、第3の超格子欠陥低減層50および第4のアンドープGaN層6を順に成長させ、この上に素子構造100を作製する。第1～第3の超格子欠陥低減層30、40、50は、InGaN膜およびAlGaN膜がこの順で形成されて対になったものが5対積層されてなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上にガリウムを含む第1のIII族窒化物系半導体層が形成され、前記第1のIII族窒化物系半導体層上に、超格子多層膜と第2のIII族窒化物系半導体層とをこの順に含む1組以上の積層構造が形成され、前記積層構造上に素子領域を有する第3のIII族窒化物系半導体層が形成され、前記超格子多層膜は少なくともインジウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり第1の格子定数を有する第1の膜と、少なくともアルミニウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり前記第1の格子定数と異なる第2の格子定数を有する第2の膜とがこの順で交互に積層されてなることを特徴とする窒化物系半導体素子。

【請求項2】 前記第1のIII族窒化物系半導体層上に、前記積層構造が複数組積層され、複数組の前記積層構造に含まれる前記第2のIII族窒化物系半導体層は同じ組成または異なる組成を有することを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体素子。

【請求項3】 前記超格子多層膜の前記第1の膜および前記第2の膜の平均格子定数が前記第1のIII族窒化物系半導体層の格子定数とほぼ等しいことを特徴とする請求項1または2記載の窒化物系半導体素子。

【請求項4】 前記第2のIII族窒化物系半導体層はガリウムを含むことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

【請求項5】 前記第1のIII族窒化物系半導体層はGaNからなり、前記第2のIII族窒化物系半導体層はGaNからなり、前記超格子多層膜の前記第1の膜はInGaNからなり、前記超格子多層膜の前記第2の膜はAlGaNからなることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

【請求項6】 前記超格子多層膜の前記第1の膜および前記第2の膜の各々は厚さが5Å以上70Å以下であることを特徴とする請求項5記載の窒化物系半導体素子。

【請求項7】 前記超格子多層膜は、前記第1の膜および前記第2の膜の対を2以上9以下含むことを特徴とする請求項5または6記載の窒化物系半導体素子。

【請求項8】 基板上にガリウムを含む第1のIII族窒化物系半導体層を形成する工程と、前記第1のIII族窒化物系半導体層上に、超格子多層膜と第2のIII族窒化物系半導体層とをこの順に含む1組以上の積層構造を形成する工程と、前記積層構造上に素子領域を有する第3のIII族窒化物系半導体層を形成する工程とを含み、前記超格子多層膜は、少なくともインジウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり第1の格子定数を有する第1の膜と、少なくともアルミニウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり前記第1の格子定数と異なる第2の格子定数を有する第2の膜とをこの順で交互に積層してなることを特徴とする窒化物系半導体素子の製造方法。

【請求項9】 前記積層構造を形成する工程は、前記第1のIII族窒化物系半導体層上に前記積層構造を複数組積層する工程を含み、複数組の前記積層構造に含まれる前記第2のIII族窒化物系半導体層は同じ組成または異なる組成を有することを特徴とする請求項8記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）、InN（窒化インジウム）、BN（窒化ホウ素）もしくはTiN（窒化タリウム）またはこれらの混晶等のIII-V族窒化物系半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）からなる化合物半導体層を有する窒化物系半導体素子およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、GaN系窒化物系半導体素子の研究が進められている。GaN系半導体素子の製造の際には、GaNからなる基板が存在しないため、GaNと同じ六方晶系であるサファイアからなる基板を用いる。このサファイア基板上にGaN系半導体層を成長させる。

【0003】ここで、GaN結晶の格子定数（a軸）は3.19Åであり、サファイア結晶の格子定数（a軸）は4.8Åである。このように、GaNとサファイアとでは格子定数が大きく異なるため、サファイア基板上に成長させたGaN層には歪が存在する。この歪により、GaN層中に多数の格子欠陥が発生する。サファイア基板上に成長させたGaN層の欠陥密度は $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 程度である。

【0004】このようなGaNの格子欠陥はGaN層上に成長させた半導体層にも伝播するため、サファイア基板を用いて作製した半導体素子においては、多数の格子欠陥が存在する。格子欠陥は、半導体素子におけるリーク電流の発生、不純物の拡散等の原因となり、半導体素子の素子特性に悪影響を与える。

【0005】例えば、格子欠陥が多数存在する半導体レーザ素子においては、格子欠陥によりリーク電流が多く発生する。このため、半導体レーザ素子の動作電流が高くなる。それにより、半導体レーザ素子の劣化が著しく、素子の寿命が低下する。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】そこで、上記のような格子欠陥を低減するために、従来においては以下のような方法が用いられている。

【0007】まず、サファイア基板上に成長させた格子欠陥の多数存在するGaN層上に、InGaN層を介してGaN系半導体層を成長させる方法がある。

【0008】図11(a)に示すように、InN結晶の格子定数（a軸）は3.55Åであり、InNはGaNに比べて格子定数がサファイアに近い。このことを利用

して、この方法においては、サファイアに近い格子定数を有するInGa<sub>N</sub>層を介してGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させることにより格子欠陥の低減を図るものである。しかしながら、この方法においては十分に格子欠陥を低減することができない。

【0009】一方、サファイア基板上に成長させた格子欠陥の多数存在するGa<sub>N</sub>層上にInGa<sub>N</sub>膜とGa<sub>N</sub>膜とを交互に積層してなるInGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜を形成し、このInGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜を介してGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させる方法がある。

【0010】この場合、前述のようにIn<sub>N</sub>の格子定数はGa<sub>N</sub>に比べてサファイアに近いので、InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜の平均格子定数は、図11(b)に示すように、Ga<sub>N</sub>単層の場合に比べてサファイアの格子定数に近くなる。また、この場合はGa<sub>N</sub>膜とInGa<sub>N</sub>膜との多層構造なので、InGa<sub>N</sub>単層の場合に比べてGa<sub>N</sub>の格子定数にも近くなる。このことを利用して、この方法においては、InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜を介してGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させることにより格子欠陥の低減を図るものである。しかしながら、この方法においては十分に格子欠陥を低減することができない。

【0011】また、サファイア基板上に成長させた格子欠陥の多数存在するGa<sub>N</sub>層上に、AlGa<sub>N</sub>膜とGa<sub>N</sub>膜とを交互に積層してなるAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜を形成し、このAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜を介してGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させる方法がある。

【0012】この場合、Al<sub>N</sub>結晶の格子定数(a軸)が3.11Åであることから、図11(c)に示すように、AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜の平均格子定数はGa<sub>N</sub>の格子定数に比べて小さくなる。この方法においては、このようなAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>多層膜に格子欠陥の原因となる歪を集中させることにより格子欠陥の低減を図るものである。しかしながら、この方法においては十分に格子欠陥を低減することができない。

【0013】一方、特開平8-56015号には、サファイア基板上に成長させた格子欠陥の多数存在するGa<sub>N</sub>層上に、AlGa<sub>N</sub>膜とInGa<sub>N</sub>膜とを交互に積層してなるAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜を形成し、このAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜を介してGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させる方法が開示されている。

【0014】この方法においては、格子欠陥が多数存在するGa<sub>N</sub>層上に、基板温度800℃でAlGa<sub>N</sub>膜を成長させ、さらにInGa<sub>N</sub>膜を成長させる。ここでは、AlGa<sub>N</sub>膜およびInGa<sub>N</sub>膜が対になったものを1周期とし、連続して合計40周期形成する。このようにして形成したAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜により、Ga<sub>N</sub>層から延びる格子欠陥の低減を図るものである。

【0015】しかしながら、上記のAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜においては、まず初めに基板温度800℃で

Ga<sub>N</sub>層上にAlGa<sub>N</sub>膜を成長させるため、AlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜において初めに形成したAlGa<sub>N</sub>膜の結晶性が悪い。ここで、複数のAlGa<sub>N</sub>膜およびInGa<sub>N</sub>膜を積層してなるAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜においては、初めに成長させた膜、すなわちAlGa<sub>N</sub>膜の結晶性が、上に成長させる膜の結晶性に影響する。したがって、初めに成長させたAlGa<sub>N</sub>膜の結晶性が悪いために、AlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜においては良好な結晶性が実現できず、十分に格子欠陥を低減することができない。

【0016】また、上記の方法においてはAlGa<sub>N</sub>膜とInGa<sub>N</sub>膜との対を40周期で形成しているが、AlGa<sub>N</sub>膜をこのような多層で積層してなるAlGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>多層膜においては良好な結晶性が実現できず、十分に格子欠陥を低減することができない。

【0017】以上のことから、特開平8-56015号に開示された方法においては、半導体素子において素子特性の向上を図ることが困難である。

【0018】一方、格子欠陥を低減する方法として、選択成長マスクを用いた選択横方向成長がある。この方法においては、サファイア基板上に成長させた格子欠陥の多数存在するGa<sub>N</sub>層上に、ストライプ状の選択成長マスクを形成する。そして、HVPE法(ハライドエピタキシャル気相成長法)により、Ga<sub>N</sub>層上および選択成長マスク上にGa<sub>N</sub>を再成長させる。それにより、再成長させたGa<sub>N</sub>層において格子欠陥を欠陥密度 $6 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度まで低減することが可能となる。

【0019】このような選択成長マスクを用いた方法は、半導体素子の格子欠陥を低減するために最も広く用いられている方法である。現在のところ、長寿命の窒化物系半導体レーザ素子は、この方法によってのみ得られている。

【0020】しかしながら、上記の方法においては、一旦ウエハを結晶成長装置から取り出して選択成長マスクを形成するとともに、選択成長マスク形成後に再び結晶成長装置内にウエハを戻してGa<sub>N</sub>を再成長させる必要がある。このため、半導体素子の製造工程が複雑となり、製造コストが高くなる。

【0021】本発明の目的は、格子欠陥が低減されて良好な素子特性を有するとともに、低コストで製造が可能な窒化物系半導体素子およびその製造方法を提供することである。

【0022】

【課題を解決するための手段および発明の効果】本発明に係る窒化物系半導体素子は、基板上にガリウムを含む第1のIII族窒化物系半導体層が形成され、第1のIII族窒化物系半導体層上に、超格子多層膜層と第2のIII族窒化物系半導体層とをこの順に含む1組以上の積層構造が形成され、積層構造上に素子領域を有する第3のII族窒化物系半導体層が形成され、超格子多層膜は、少

なくともインジウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり第1の格子定数を有する第1の膜と、少なくともアルミニウムおよびガリウムを含むIII族窒化物系半導体からなり第1の格子定数と異なる第2の格子定数を有する第2の膜とがこの順で交互に積層されてなるものである。

【0023】本発明に係る窒化物系半導体素子の超格子多層膜において、インジウムを含む第1の膜の格子定数（第1の格子定数）が、アルミニウムを含む第2の膜の格子定数（第2の格子定数）に比べて大きくなる。

【0024】この場合、超格子多層膜の第1の膜と第2の膜とでは格子定数が異なることから、第1のIII族窒化物系半導体層から超格子多層膜に伝播した貫通欠陥は、超格子多層膜において圧縮歪および引張り歪を受け、横方向に折れ曲がる。このように横方向に折れ曲がった貫通欠陥は互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、超格子多層膜において貫通欠陥の低減が図られる。

【0025】ところで、上記のような超格子多層膜を形成する際には、第1の膜のインジウムの遊離を防止するため、第1の膜および第2の膜を低温で成長させる。ここで、第2の膜はアルミニウムを含むことから、低温で成長させた第2の膜の結晶性は、第1の膜の結晶性に比べて劣化する。

【0026】ここで、上記の窒化物系半導体素子の超格子多層膜においては、第1の膜と第2の膜とを積層する際に、第2の膜に比べて良好な結晶性を有する第1の膜をまず初めに形成する。このため、初めに成長させた第1の膜の結晶性が、その上に積層された膜の結晶性に良好な影響を与える。それにより、超格子多層膜において、結晶性の向上が図られる。

【0027】以上のように、超格子多層膜において格子欠陥が低減されて良好な結晶性が実現されることから、超格子多層膜上に形成された第2のIII族窒化物系半導体層において結晶性の向上が図られる。

【0028】上記の窒化物系半導体素子においては、結晶性の向上が図られた第2のIII族窒化物系半導体層上に素子領域を含む第3のIII族窒化物系半導体層が形成されているため、第3のIII族窒化物系半導体層、特に素子領域において良好な結晶性が得られる。それにより、窒化物系半導体素子において、素子特性の向上が図られる。

【0029】また、このような窒化物系半導体素子においては、超格子多層膜を形成することにより、選択成長マスクを用いることなく結晶性の向上を図ることが可能となる。このため、製造が容易であり、製造コストの低減が図られる。

【0030】第1のIII族窒化物系半導体層上に、積層構造が複数組積層され、複数組の積層構造に含まれる第2のIII族窒化物系半導体層は同じ組成または異なる組

成を有することが好ましい。このように積層構造が複数組積層された場合においては、単独の積層構造において低減することができなかった格子欠陥を、この積層構造の上に形成された積層構造において低減することができる。それにより、格子欠陥を効果的に低減することが可能となる。

【0031】超格子多層膜の第1の膜および第2の膜の平均格子定数が第1のIII族窒化物系半導体層の格子定数とほぼ等しいことが好ましい。このような超格子多層膜においては、前述の歪補償効果がより大きくなるため、格子欠陥をより効果的に低減することが可能となる。

【0032】第2のIII族窒化物系半導体層はガリウムを含んでもよい。また、第1のIII族窒化物系半導体層はGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなり、第2のIII族窒化物系半導体層はInGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなり、超格子多層膜の第1の膜はInGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなり、超格子多層膜の第2の膜はAlGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなってもよい。

【0033】この場合、InGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>はGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>よりも格子定数が大きいので、超格子多層膜の第1の膜は圧縮歪を有する。一方、AlGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>はGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>よりも格子定数が小さいので、超格子多層膜の第2の膜は引張り歪を有する。このような圧縮歪を有する第1の膜と、引張り歪を有する第2の膜とが積層されてなる超格子多層膜においては、第1のIII族窒化物系半導体層から伝播した貫通欠陥が圧縮歪および引張り歪を受け、貫通欠陥が横方向に折れ曲がる。このように横方向に折れ曲がった貫通欠陥は互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、超格子多層膜において、貫通欠陥の低減が図られる。

【0034】上記のような超格子多層膜においては、第1の膜および第2の膜の各々は厚さが5Å以上70Å以下であることが好ましい。また、超格子多層膜は、第1の膜および第2の膜の対を2以上9以下含むことが好ましい。

【0035】このような厚さおよび層数の第1の膜および第2の膜からなる超格子多層膜においては、格子欠陥の低減を効果的に図ることが可能となる。

【0036】特に、AlGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなる第2の膜を2層以上かつ9以下とすることにより、超格子多層膜において、AlGa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>からなる層の過剰な積層により発生する結晶性の劣化を防止することができる。したがって、超格子多層膜において結晶性の向上が図られ、格子欠陥の低減効果が大きくなる。

【0037】本発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法は、基板上にガリウムを含む第1のIII族窒化物系半導体層を形成する工程と、第1のIII族窒化物系半導体層上に、超格子多層膜と第2のIII族窒化物系半導体層とをこの順に含む1組以上の積層構造を形成する工程と、積層構造上に素子領域を有する第3のIII族窒化物系半導体層を形成する工程とを含み、超格子多層膜は、

少なくともインジウムおよびガリウムを含むIII 族窒化物系半導体からなり第1の格子定数を有する第1の膜と、少なくともアルミニウムおよびガリウムを含むIII 族窒化物系半導体からなり第1の格子定数と異なる第2の格子定数を有する第2の膜とをこの順で交互に積層するものである。

【0038】本発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法においては、格子定数の異なる第1の膜と第2の膜とを積層してなる超格子多層膜を第1のIII 族窒化物系半導体層上に形成する。

【0039】この場合、超格子多層膜において、インジウムを含む第1の膜の格子定数（第1の格子定数）は、アルミニウムを含む第2の膜の格子定数（第2の格子定数）に比べて大きくなる。したがって、第1のIII 族窒化物系半導体層から超格子多層膜に伝播した貫通欠陥は、超格子多層膜において圧縮歪および引張り歪を受け、横方向に折れ曲がる。このように横方向に折れ曲がった貫通欠陥は、互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、超格子多層膜において貫通欠陥の低減が図られる。

【0040】ところで、上記のような超格子多層膜を形成する工程においては、第1の膜のインジウムの遊離を防止するため、第1の膜および第2の膜を低温で成長させる。アルミニウムを含む第2の膜をこのような低温で成長させると、第2の膜の結晶性が劣化する。

【0041】ここで、本発明の方法においては、超格子多層膜を形成する際に、第2の膜に比べて良好な結晶性を有する第1の膜をまず初めに成長させる。このため、初めに成長させた第1の膜の良好な結晶性が、その上に積層された膜の結晶性に良好な影響を与える。それにより、超格子多層膜において、結晶性の向上を図ることが可能となる。

【0042】以上のように、超格子多層膜において格子欠陥を低減して良好な結晶性を実現することが可能となるため、超格子多層膜上に形成した第2のIII 族窒化物系半導体層において結晶性の向上を図ることが可能とな

る。

【0043】上記の窒化物系半導体素子の製造方法においては、結晶性の向上が図られた第2のIII 族窒化物系半導体層上に素子領域を含む第3のIII 族窒化物系半導体層を形成するため、第3のIII 族窒化物系半導体層、特に素子領域において良好な結晶性が得られる。したがって、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を製造することが可能となる。

【0044】また、上記の窒化物系半導体素子の製造方法においては、超格子多層膜を形成することにより、選択成長マスクを用いることなく結晶性の向上を図ることが可能となる。このため、製造工程が容易であり、製造コストの低減を図ることが可能となる。

【0045】積層構造を形成する工程は、第1のIII 族窒化物系半導体層上に積層構造を複数組積層する工程を含み、複数組の積層構造に含まれる第2のIII 族窒化物系半導体層は同じ組成または異なる組成を有することが好ましい。

【0046】このように積層構造を複数組積層する場合においては、単独の積層構造において低減することができなかった格子欠陥を、この積層構造の上に形成された積層構造において低減することができる。それにより、格子欠陥を効果的に低減することが可能となる。

【0047】

【発明の実施の形態】以下においては、本発明に係る窒化物系半導体素子として、窒化物系半導体レーザ素子について説明する。

【0048】図1は本発明の一実施例における半導体レーザ素子を示す模式的な断面図である。図1に示す半導体レーザ素子500は、以下の方法により作製される。

【0049】半導体レーザ素子500の作製時には、まず、サファイア基板1上に各層2～6を成長させる。各層2～6の成長条件は表1に示す通りである。

【0050】

【表1】

	組成	膜厚	基板温度 (°C)	原料ガス
バッファ層2	$\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$	200 Å	600	TMG, TMA, $\text{NH}_3$
第17アンドープ GaN層3	GaN	1.0 μm	1080	TMG, $\text{NH}_3$
第1超格子欠陥 低減層30 (InGaN/AlGaN 5対)	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$	各25 Å	800	TMG, TMI, $\text{NH}_3$
	$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$	各25 Å		TMG, TMA, $\text{NH}_3$
第27アンドープ GaN層4	GaN	1.0 μm	1080	TMG, $\text{NH}_3$
第2超格子欠陥 低減層40 (InGaN/AlGaN 5対)	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$	各25 Å	800	TMG, TMI, $\text{NH}_3$
	$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$	各25 Å		TMG, TMA, $\text{NH}_3$
第37アンドープ GaN層5	GaN	1.0 μm	1080	TMG, $\text{NH}_3$
第3超格子欠陥 低減層50 (InGaN/AlGaN 5対)	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$	各25 Å	800	TMG, TMI, $\text{NH}_3$
	$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$	各25 Å		TMG, TMA, $\text{NH}_3$
第47アンドープ GaN層6	GaN	1.0 μm	1080	TMG, $\text{NH}_3$

【0051】以下に、各層2～6の成長時の詳細について説明する。まず、図2(a)に示すように、サファイア基板1上にバッファ層2および第1のアンドープGaN層3を成長させる。このようにして成長させた第1のアンドープGaN層3には、サファイア基板1とGaNとの格子定数の差により発生した多数の格子欠陥20が存在する。この場合、第1のアンドープGaN層3の欠陥密度は $1.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ である。

【0052】続いて、図2(b)に示すように、第1のアンドープGaN層3上に、InGaN膜およびAlGaIn膜をこの順で交互に積層してなる第1のInGaN/AlGaIn超格子欠陥低減層30を成長させる。さらに、この第1のInGaN/AlGaIn超格子欠陥低減層30上に、第2のアンドープGaN層4を成長させる。

【0053】図3は、第1のInGaN/AlGaIn超格子欠陥低減層30の詳細な構造を示す図である。図3に示すように、第1のInGaN/AlGaIn超格子欠陥低減層30は、InGaN膜30aおよびAlGaIn膜30bが順に積層されて対になったものが合計5対積層されている。この場合、InGaN膜30aは膜厚25 Åの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなり、AlGaIn膜30bは膜厚25 Åの $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなる。

【0054】ここで、図5に示すように、第1のInGaIn/AlGaIn超格子欠陥低減層30においては、InGaIn膜30aおよびAlGaIn膜30bの平均格子定数がGaNの格子定数とほぼ一致するように、InGaIn膜30aにおけるIn組成およびAlGaIn膜30

bにおけるAl組成が設定されている。

【0055】図6は、InGaIn/AlGaIn超格子欠陥低減層の格子定数、すなわちInGaIn膜およびAlGaIn膜の平均格子定数がGaNの格子定数と一致する場合におけるAlGaIn膜のAl組成とInGaIn膜のIn組成との関係を示す図である。

【0056】本実施例の第1のInGaIn/AlGaIn超格子欠陥低減層30においては、InGaIn膜30aが $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなり、InGaIn膜30aのIn組成が5%である。また、AlGaIn膜30bは $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなり、AlGaIn膜30bのAl組成が25%である。したがって、図6に示すように、InGaIn膜30aおよびAlGaIn膜30bの平均格子定数がGaNの格子定数とほぼ一致している。

【0057】このように、第1のInGaIn/AlGaIn超格子欠陥低減層30の平均格子定数をGaNの格子定数と一致させることにより、後述の歪補償効果がより大きくなる。

【0058】上記の第1のInGaIn/AlGaIn超格子欠陥低減層30においては、前述のようにInNの格子定数がGaNの格子定数に比べて大きいことから、第1のアンドープGaN層3上の各InGaIn膜30aにおいて圧縮歪が生じる。一方、前述のようにAlNの格子定数がGaNの格子定数に比べて小さいことから、第1のアンドープGaN層3上の各AlGaIn膜30bにおいて引張り歪が生じる。

【0059】このような圧縮歪を有するInGaIn膜30aと引張り歪を有するAlGaIn膜30bとが交互に



複数積層されてなる第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、第1のアンダーブGaN層3から伝播した貫通欠陥が圧縮歪および引張り歪を繰り返して受けるため、貫通欠陥が横方向に折れ曲がる。この横方向に折れ曲がった貫通欠陥は互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、貫通欠陥の低減が図られる。

【0060】ここで、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、第1のアンダーブGaN層3上にまず初めに基板温度800℃でInGa<sub>N</sub>膜30aを成長させ、続いて基板温度800℃でAlGa<sub>N</sub>膜30bを成長させている。この場合、基板温度800℃で成長させたInGa<sub>N</sub>は基板温度800℃で成長させたAlGa<sub>N</sub>に比べて結晶性が良好であることから、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30において初めに形成されたInGa<sub>N</sub>膜30aは、AlGa<sub>N</sub>膜30bに比べて良好な結晶性を有する。

【0061】図3に示すような多層膜構造を有する第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、初めに成長させた膜の結晶性が、その上に積層する膜の結晶性にも影響する。したがって、初めに結晶性の良好なInGa<sub>N</sub>膜30aを成長させてなる第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、この膜30aの上に続けて成長させたAlGa<sub>N</sub>膜30bおよびInGa<sub>N</sub>膜30aの結晶性が向上する。それにより、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、結晶性の向上が図られる。

【0062】また、本実施例においては、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を構成するAlGa<sub>N</sub>膜30bが5層である。このため、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、AlGa<sub>N</sub>膜の過剰な積層が原因となって発生する結晶性の劣化が生じない。

【0063】以上のように、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30において良好な結晶性が実現されるため、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に成長させた第2のアンダーブGaN層4において、格子欠陥20の低減が図られる。この場合、第2のアンダーブGaN層4の欠陥密度は $5.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ である。

【0064】続いて、図4(c)に示すように、第2のアンダーブGaN層4上に第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40を形成し、さらにその上に第3のアンダーブGaN層5を成長させる。

【0065】この第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40は、図3に示す第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30と同様の構造を有する。すなわち、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40は、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜が順に積層

されて対になったものが合計5対積層されてなる。

【0066】第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40のInGa<sub>N</sub>膜は膜厚25ÅのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる。また、AlGa<sub>N</sub>膜は膜厚25ÅのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nからなる。

【0067】このように、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、InGa<sub>N</sub>膜におけるIn組成が5%であり、かつAlGa<sub>N</sub>膜におけるAl組成が25%である。したがって、図6に示すように、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の平均格子定数がGaNの平均格子定数とほぼ一致している。このような第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、後述の補償効果がより大きくなる。

【0068】第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30の場合と同様、第2のアンダーブGaN層4上の各InGa<sub>N</sub>膜において圧縮歪が生じるとともに、各AlGa<sub>N</sub>膜において引張り歪が生じる。

【0069】このような圧縮歪を有するInGa<sub>N</sub>膜と引張り歪を有するAlGa<sub>N</sub>膜とが交互に積層されてなる第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、第2のアンダーブGaN層4から伝播した貫通欠陥が圧縮歪および引張り歪を繰り返して受けるため、貫通欠陥が横方向に折れ曲がる。この横方向に折れ曲がった貫通欠陥は互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、貫通欠陥の低減が図られる。

【0070】ここで、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、第2のアンダーブGaN層4上にまず初めに基板温度800℃でInGa<sub>N</sub>膜を成長させ、続いて基板温度800℃でAlGa<sub>N</sub>膜を成長させている。この場合、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40において初めに形成された膜、すなわちInGa<sub>N</sub>膜において、AlGa<sub>N</sub>膜よりも良好な結晶性が得られる。

【0071】このように、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、初めに結晶性の良好なInGa<sub>N</sub>膜を成長させるため、このInGa<sub>N</sub>膜上に続けて成長させたAlGa<sub>N</sub>膜およびInGa<sub>N</sub>膜の結晶性が向上する。したがって、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、結晶性の向上が図られる。

【0072】また、本実施例においては、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40を構成するAlGa<sub>N</sub>膜が5層である。このため、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、AlGa<sub>N</sub>膜の過剰な積層が原因となって発生する結晶性の劣化が生じない。

【0073】以上のように、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40において良好な結晶性が実現されるため、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40上に成長させた第3のアンドープGa<sub>N</sub>層5において、格子欠陥20の低減が図られる。この場合、第3のアンドープGa<sub>N</sub>層5の欠陥密度は $3.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ である。

【0074】さらに、図4(d)に示すように、第3のアンドープGa<sub>N</sub>層5上に第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50を形成し、さらにその上に第4のアンドープGa<sub>N</sub>層6を成長させる。

【0075】この第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50は、図3に示す第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30と同様の構造を有する。すなわち、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50は、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜が順に積層されて対になったものが合計5対積層されてなる。

【0076】第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50のInGa<sub>N</sub>膜は膜厚25ÅのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる。また、AlGa<sub>N</sub>膜は膜厚25ÅのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nからなる。このように、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、InGa<sub>N</sub>膜におけるIn組成が5%でありかつAlGa<sub>N</sub>膜におけるAl組成が25%である。したがって、図6に示すように、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の平均格子定数がGa<sub>N</sub>の平均格子定数とほぼ一致している。このような第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、後述の歪補償効果がより大きくなる。

【0077】第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、第1のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30の場合と同様、第3のアンドープGa<sub>N</sub>層5上の各InGa<sub>N</sub>膜において圧縮歪が生じるとともに、各AlGa<sub>N</sub>膜において引張り歪が生じる。

【0078】このような圧縮歪を有するInGa<sub>N</sub>膜と引張り歪を有するAlGa<sub>N</sub>膜とが交互に積層されてなる第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4から伝播した貫通欠陥が圧縮歪および引張り歪を繰り返し受けるた

め、貫通欠陥が横方向に折れ曲がる。この横方向に折れ曲がった貫通欠陥は互いに相殺しあう。このような歪補償効果により、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、貫通欠陥の低減が図られる。

【0079】ここで、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、第3のアンドープGa<sub>N</sub>層4上にまず初めに基板温度800℃でInGa<sub>N</sub>膜を成長させ、続いて基板温度800℃でAlGa<sub>N</sub>膜を成長させている。この場合、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50において初めに形成された膜、すなわちInGa<sub>N</sub>膜において、AlGa<sub>N</sub>膜よりも良好な結晶性が得られる。

【0080】このように、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、初めに結晶性の良好なInGa<sub>N</sub>膜を成長させるため、このInGa<sub>N</sub>膜上に続けて成長させたAlGa<sub>N</sub>膜およびInGa<sub>N</sub>膜の結晶性が向上する。したがって、第2のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層40においては、結晶性の向上が図られる。

【0081】また、本実施例においては、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50を構成するAlGa<sub>N</sub>膜が5層である。このため、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50においては、AlGa<sub>N</sub>膜の過剰な積層が原因となって発生する結晶性の劣化が生じない。

【0082】以上のように、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50において良好な結晶性が実現されるため、第3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層50上に成長させた第4のアンドープGa<sub>N</sub>層6において、格子欠陥20の低減が図られる。この場合、第4のアンドープGa<sub>N</sub>層6の欠陥密度は $1.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ である。

【0083】上記のようにして各層2~6を成長させた後、図1に示す素子構造100を以下の方法により作製する。

【0084】素子構造100の作製時には、まず第4のアンドープGa<sub>N</sub>層6上に各層7~15を成長させる。各層7~15の成長条件は表2に示す通りである。

【0085】

【表2】

	組成	膜厚	基板温度 (°C)	原料ガス
n-コンタクト層7	n-GaN	4.5 μm	1080	TMG, NH <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub>
n-クラッド防止層8	n-Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N n-GaN	各60 Å 各60 Å	1080	TMG, TMA, NH <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub>
n-クラッド層9	n-Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	1.0 μm	1080	TMG, TMA, NH <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub>
n-ガイド層10	n-GaN	0.1 μm	1080	TMG, NH <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub>
発光層11 障壁層 井戸層	n-In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N n-In <sub>0.13</sub> Ga <sub>0.87</sub> N	各50 Å 各20 Å	800	TMG, TMA, NH <sub>3</sub> , SiH <sub>4</sub>
p-キャリアブロック層12	p-Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N	200 Å	800	TMG, TMA, NH <sub>3</sub> , Cp <sub>2</sub> Mg
p-ガイド層13	p-GaN	0.1 μm	1080	TMG, NH <sub>3</sub> , Cp <sub>2</sub> Mg
p-クラッド層14	p-Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.45 μm	1080	TMG, TMA, NH <sub>3</sub> , Cp <sub>2</sub> Mg
p-コンタクト層15	p-GaN	0.05 μm	1080	TMG, NH <sub>3</sub> , Cp <sub>2</sub> Mg

【0086】次に、p-コンタクト層15からn-コンタクト層7までの一部領域をエッチングして除去し、n-コンタクト層7を露出させる。露出したn-コンタクト層7上にn電極51を形成する。また、p-コンタクト層15の所定領域上にp電極52を形成する。さらに、共振器端面を形成して共振器構造を形成する。最後に、サファイア基板1とともに各層2～15を分割し、個々の半導体レーザ素子500に分離する。

【0087】このようにして、図1に示す半導体レーザ素子500が作製される。上記の方法により作製された半導体レーザ素子500においては、第1から第3のInGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層30、40、50により格子欠陥を低減できるため、第1から第3のInGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層30、40、50上に形成された第2～第4のアンダーGaN層4～6において、結晶性の向上が図られる。

【0088】特に、この場合においては、InGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層上にアンダーGaN層が積層された構造を1周期として、この積層構造が3周期形成されている。したがって、1周期目で低減されなかった格子欠陥20は2周期目で低減され、さらに2周期目で低減されなかった格子欠陥20は3周期目で低減される。このように、InGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層およびアンダーGaN層の積層構造を複数周期で形成することにより、重複して格子欠陥20を低減することができる。したがって、3周期目の第3のInG

aN/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層50上に形成された第4のアンダーGaN層6においては、格子欠陥20が効果的に低減される。

【0089】半導体レーザ素子500においては、上記のように格子欠陥20が低減されて良好な結晶性を有する第4のアンダーGaN層6上に素子構造100が形成されている。このため、素子構造100を構成する各層7～15において良好な結晶性が得られる。それにより、半導体レーザ素子500においては、リーク電流の発生、不純物の拡散等が防止され、良好な素子特性が実現される。

【0090】例えば、格子欠陥20が低減された半導体レーザ素子500では、リーク電流の発生が防止されるため、動作電流が低減される。このため、素子の劣化が抑制され、素子の寿命が長くなる。

【0091】また、半導体レーザ素子500においては、選択成長マスクを用いることなく容易に格子欠陥20を低減することができる。このため、半導体レーザ素子500は容易に製造が可能であり、低コストでの製造が可能となる。

【0092】続いて、InGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層に関して、格子欠陥を低減するための最適な条件について検討を行った。ここでは、InGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>0.9</sub>N膜およびAlGa<sub>0.1</sub>N膜の厚さ、InGa<sub>0.9</sub>N/AlGa<sub>0.1</sub>N超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>0.9</sub>N膜およびAlGa<sub>0.1</sub>N膜の数、

ならびにInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層およびGa<sub>N</sub>からなる積層構造を形成する周期について調べた。

【0093】まず、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の厚さの検討を以下の方法により行った。

【0094】この場合、図2(a)に示すように、サファイア基板1上にバッファ層2および第1のアンドープGa<sub>N</sub>層3を成長させた。このようにして形成した第1のアンドープGa<sub>N</sub>層3には $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の格子欠陥20が存在していた。

【0095】次に、図2(b)に示すように、第1のアンドープGa<sub>N</sub>層3上に図3のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を成長させ、さらにその上に第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4を成長させた。

【0096】ここで、この場合においては、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30の成長時にIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NからなるInGa<sub>N</sub>膜30aの膜厚、およびAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>NからなるAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚を変化させ、InGa<sub>N</sub>膜30aおよびAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚がそれぞれ異なる複数のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を形成した。なお、この場合においては、InGa<sub>N</sub>膜30aの膜厚とAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚とを等しくしている。

【0097】InGa<sub>N</sub>膜30aおよびAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚がそれぞれ異なる複数のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に形成した各々の第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4について、格子欠陥20の欠陥密度を調べた。その結果を図7に示す。

【0098】図7は、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30におけるInGa<sub>N</sub>膜30aおよびAlGa<sub>N</sub>膜30bの厚さと、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に形成された第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度との関係を示す図である。

【0099】図7に示すように、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30におけるInGa<sub>N</sub>膜30aおよびAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚の各々が5~70Åの場合に、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以下となる。また、InGa<sub>N</sub>膜30aおよびAlGa<sub>N</sub>膜30bの膜厚の各々が5~40Åの範囲内において、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度が著しく低減される。

【0100】以上のことから、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層においては、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の各々の膜厚を5~70Åとすることが好ましく、特に5~40Åとすることが好ましい。それにより、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層上に成長させたGa<sub>N</sub>層において、格子欠陥20を効果的に低減することが可能となる。

【0101】次に、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥

低減層を構成するInGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の数の検討を以下の方法により行った。

【0102】この場合、図2(a)に示すように、サファイア基板1上にバッファ層2および第1のアンドープGa<sub>N</sub>層3を成長させた。このようにして形成したアンドープ第1のGa<sub>N</sub>層3には $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の格子欠陥20が存在していた。

【0103】次に、図2(b)に示すように、第1のアンドープGa<sub>N</sub>層3上に、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる膜厚20ÅのInGa<sub>N</sub>膜とAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nからなる膜厚20ÅのAlGa<sub>N</sub>膜とをこの順で交互に積層してなるInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を成長させた。さらに、このInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に第1のアンドープGa<sub>N</sub>層4を成長させた。

【0104】なお、ここでは、InGa<sub>N</sub>膜とAlGa<sub>N</sub>膜とを1対とし、この対の数がそれぞれ異なる複数のInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を形成した。

【0105】InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の対の数がそれぞれ異なるInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に形成した各々の第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4について、格子欠陥20の欠陥密度を調べた。その結果を図8に示す。

【0106】図8は、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30におけるInGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜の対の数と、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30上に形成された第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度との関係を示す図である。

【0107】図8に示すように、2対以上9対以下のInGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜を含むInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を形成した場合、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度が $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以下となる。また、3~6対のInGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜を含むInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30を形成した場合には、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4の欠陥密度が著しく低減される。一方、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜を10対以上含むInGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層においては、欠陥密度の低減効果が減少した。

【0108】このことから、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層30においては、InGa<sub>N</sub>膜およびAlGa<sub>N</sub>膜からなる対を2対以上9対以下設けることが好ましく、特に3~6対設けることが好ましい。それにより、第2のアンドープGa<sub>N</sub>層4において、格子欠陥20を効果的に低減することが可能となる。

【0109】続いて、InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>超格子欠陥低減層およびGa<sub>N</sub>層からなる積層構造を形成する周期の検討を以下の方法により行った。

【0110】この場合、図2(a)に示すように、サフ

ァイア基板1上にバッファ層2および第1のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層3を成長させた。このようにして形成した第1のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層3には $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の格子欠陥20が存在していた。

【0111】次に、図2(b)に示すように、第1のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層3上に、図3に示す構造を有する第1のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層30を成長させた。

【0112】なお、この場合の第1のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層30は、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる膜厚20ÅのInGa<sub>0.05</sub>N膜30aとAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nからなる膜厚20ÅのAlGa<sub>0.75</sub>N膜30bとが対になったものが合計5対積層されてなる。

【0113】さらに、第1のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層30上に、第2のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層4を成長させ、この第2のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層4の欠陥密度を求めた。このようにして、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を1周期形成した場合の欠陥の低減効果を調べた。

【0114】続いて、図4(c)に示すように、第2のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層4上に第2のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層40を成長させた。なお、第2のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層40の構造は、第1のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層30の構造と同様である。

【0115】さらに、第2のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層40上に、第3のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層5を成長させ、この第3のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層5の欠陥密度を求めた。このようにして、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を2周期形成した場合の欠陥の低減効果を調べた。

【0116】さらに、図4(d)に示すように、第3のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層5上に第3のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層50を成長させた。なお、第3のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層50の構造は、第1のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層30の構造と同様である。

【0117】さらに、第3のInGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層50上に第4のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層6を成長させ、この第4のアンドープGa<sub>0.95</sub>N層6の欠陥密度を求めた。このようにして、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を3周期形成した場合の欠陥の低減効果を調べた。

【0118】以下、同様にして、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を4周期以上形成した場合についても欠陥の低減効果を調べた。その結果を図9に示す。

【0119】図9は、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を形成する周期と、各Ga<sub>0.95</sub>N層の欠陥密度との関係を示す図である。

【0120】図9に示すように、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を2周期以上形成した場合においては、各周期における欠陥の低減効果が重複されるため、欠陥密度が著しく低減された。ここでは、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を2周期以上形成した場合に、Ga<sub>0.95</sub>N層の欠陥密度が $5.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度まで減少した。

【0121】このことから、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造は2周期以上形成することが好ましい。それにより、Ga<sub>0.95</sub>N層において、格子欠陥を効果的に低減することが可能となる。

【0122】なお、上記の実施例の半導体レーザ素子500においては、基板としてサファイア基板1を用いているが、SiC基板等のサファイア以外の基板を用いてもよい。この場合においても、上記と同様の効果が得られる。

【0123】また、半導体レーザ素子500の各層の組成は上記に限定されるものではなく、Ga、Al、In、BおよびTlの少なくとも1つを含む窒化物系半導体から構成されていればよい。

【0124】なお、超格子欠陥低減層に隣接する層は、少なくともGaを含む。すなわち、超格子欠陥低減層に隣接する層はAl<sub>x</sub>B<sub>y</sub>In<sub>z</sub>Tl<sub>w</sub>Ga<sub>1-x-y-z-w</sub> ( $0 \leq x < 1, 0 \leq y < 1, 0 \leq z < 1, 0 \leq w < 1, x + y + z + w < 1$ ) から構成される。なお、超格子欠陥低減層に隣接する層の各々が異なる組成を有していてもよい。さらには、不純物をドーパした層としてもよい。

【0125】また、超格子欠陥低減層は、少なくともAlおよびGaを含む膜と、この膜とは異なる格子定数を有しかつ少なくともInおよびGaを含む膜とにより構成されていればよい。なお、この場合、各膜の格子定数の平均が、超格子欠陥低減層に隣接する層の格子定数とほぼ一致することが好ましい。さらには、不純物をドーパした層としてもよい。

【0126】上記の実施例においては、本発明を半導体レーザ素子に適用した場合について説明したが、本発明は半導体レーザ素子以外の半導体素子にも適用可能である。

【0127】

【実施例】実施例においては、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびアンドープGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造が3周期形成された図1の半導体レーザ素子500を作製し、この半導体レーザ素子500の素子寿命を調べた。

【0128】また、InGa<sub>0.05</sub>N/AlGa<sub>0.95</sub>N超格子欠陥低減層およびアンドープGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造が1周期形成された点を除いて半導体レーザ素子500と同

様の構造を有する半導体レーザ素子、ならびにこの積層構造が2周期形成された点を除いて半導体レーザ素子500と同様の構造を有する半導体レーザ素子を作製し、この半導体レーザ素子の素子寿命について調べた。

【0129】なお、半導体レーザ素子の駆動条件は、周波数1kHz、デューティ比10%のパルス駆動である。

【0130】なお、実施例のInGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層においては、膜厚50ÅのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NからなるInGa<sub>0.95</sub>N膜および膜厚50ÅのAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>NからなるAlGa<sub>0.3</sub>N膜が合計8対形成されている。

【0131】比較のため、図1のアンダーGa<sub>0.95</sub>N層3上に素子構造100が形成された半導体レーザ素子を作製し、この半導体レーザ素子の素子寿命について調べた。

【0132】以上の結果を図10に示す。図10に示すように、InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層を設けることにより、半導体レーザ素子の寿命の向上が図られる。特に、InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造を2周期以上形成した場合においては、著しく半導体レーザ素子の寿命が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図2】図1の半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的工程断面図である。

【図3】図1に示す半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的な部分拡大断面図である。

【図4】図1の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図5】InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>0.95</sub>N膜とAlGa<sub>0.3</sub>N膜との格子定数の関係を示す図である。

【図6】InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層の平均格子定数がGa<sub>0.95</sub>Nの格子定数と等しくなる場合のAlGa<sub>0.3</sub>N膜におけるAl組成とInGa<sub>0.95</sub>N膜におけるIn組成の関係を示す図である。

【図7】InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>0.95</sub>N膜およびAlGa<sub>0.3</sub>N膜との膜厚と欠陥密度との関係を示す図である。

【図8】InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層におけるInGa<sub>0.95</sub>N膜およびAlGa<sub>0.3</sub>N膜の対の数と欠陥密度との関係を示す図である。

【図9】InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層およびGa<sub>0.95</sub>N層からなる積層構造の周期と欠陥密度との関係を示す図である。

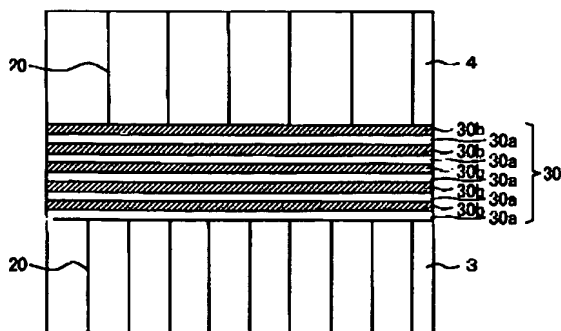
【図10】実施例の結果を示す図である。

【図11】格子欠陥を低減するための従来の方法を示す図である。

【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 3, 4, 5, 6 アンダーGa<sub>0.95</sub>N層
- 7 n-コンタクト層
- 8 n-クラック防止層
- 9 n-クラッド層
- 10 n-ガイド層
- 11 発光層
- 12 p-キャリアブロック層
- 13 p-ガイド層
- 14 p-クラッド層
- 15 p-コンタクト層
- 30, 40, 50 InGa<sub>0.95</sub>N/AlGa<sub>0.3</sub>N超格子欠陥低減層
- 30a InGa<sub>0.95</sub>N膜
- 30b AlGa<sub>0.3</sub>N膜
- 100 半導体レーザ素子構造
- 500 半導体レーザ素子

【図3】



【図5】

